

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/051276

International filing date: 18 March 2005 (18.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10 2004 014 048.0
Filing date: 19 March 2004 (19.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 28 April 2005 (28.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

10 2004 014 048.0

Anmeldetag:

19. März 2004

Anmelder/Inhaber:

Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim/DE

Bezeichnung:

Vermessungseinrichtung und Verfahren nach dem
Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie

IPC:

G 01 B 11/24

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 23. Februar 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag


Wehner

- 1 -

Beschreibung

Vermessungseinrichtung und Verfahren nach dem Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie

5

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Vermessungseinrichtung und ein Verfahren nach dem Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

10

Derartige Vermessungseinrichtungen werden zur Vermessung eines Objekts verwendet und erlauben dabei sowohl die Vermessung eines Punktes entlang einer Achse (zweidimensionale Vermessung) als auch einer um die Achse herum angeordneten Fläche (dreidimensionale Vermessung). Damit eignet sich eine derartige Vorrichtung für einen Punktsensor wie auch für einen Flächensensor.

15

Stand der Technik

20

Die Grundprinzipien der konfokalen 3D-Vermessung sind bekannt. Die Bestimmung der Höhe des Objektpunktes geschieht nach dem Stand der Technik dadurch, dass pro Punkt einer Lochrasterplatte einer Blendenanordnung bestimmt wird, in welcher Stellung des Objekts relativ zur Abbildungsoptik bzw. zur gesamten Messvorrichtung die größte Lichtmenge rückwärtig durch die Lochrasterplatte tritt. Dazu werden während der Bewegung des Objekts relativ zur Abbildungsoptik eine Vielzahl von Einzelbildern aufgezeichnet und für jeden Bildpunkt wird das Bild aus Bildfolge ermittelt, bei dem die Intensität am größten ist. Aus der Kenntnis der Stellung des Einzelbildes innerhalb der Bildfolge heraus kann das Höhenprofil des Objekts bestimmt werden. Dabei müssen allerdings typischerweise Bildfolgen aus einigen 10 bis 100 Bildern aufgezeichnet werden, so dass der Messvor-

30

- 2 -

gang bei Verwendung gängiger Aufnahmetechniken mehrere Sekunden oder noch länger dauern muss. Eine Verkürzung der gesamten Aufnahme auf einen für die Erstellung einer intraoralen Dentalaufnahme als akzeptabel angesehenen Zeitraum von etwa 200ms erfordert die Verwendung extrem aufwendiger Videotechnik und Datenauswertung oder den Verzicht auf Genauigkeit in mindestens einer der drei Dimensionen. Außerdem werden auch an die Mechanik zur Erzeugung der relativen Bewegung zwischen Objektiv und Abbildungsoptik hohe Anforderungen gestellt.

Im Stand der Technik ist bekannt, eine schnelle Änderung des Abstandes zwischen Objekt und Aufnahmeoptik durch Einfügen eines Elements aus einem Medium mit anderer optischer Dichte zu erzeugen, welche eine veränderliche Dicke hat und so bewegt wird, dass die effektive Dicke im Zeitverlauf verändert wird. Als Medium kommt hier beispielsweise Glas in Frage.

Weiterhin ist der Einsatz von 3D-Vermessungstechniken bei einer Intraoralkamera zur Vermessung von Zähnen bekannt, die nach dem Prinzip der Phase-Shift-Triangulation arbeiten.

Darüber hinaus ist für die gängigen 3D-Vermessungsverfahren der Einsatz von Punktsensoren oder Zeilensensoren bekannt, wobei dann zur Vermessung von 3D-Objekten eine Verschiebung von Objekt und Sensor vorgenommen wird, was oftmals als Scannen bezeichnet wird.

Darstellung der Erfindung

Gemäß der Erfindung umfasst die Vermessungseinrichtung nach dem Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie eine Lichtquelle, eine Abbildungsoptik zur Fokussierung des von der Lichtquelle abgestrahlten Lichts auf ein zu vermessendes

Objekt und weiterhin einen Bildempfänger für das am Objekt zurückgestreute und durch dieselbe Abbildungsoptik hindurchgetretene Licht eines Objektpunkts mit mindestens zwei strahlungsempfindlichen Sensorelementen. Die Vermessungseinrichtung hat dabei die Eigenschaft, dass einem durch die Abbildungsoptiken bestrahlten Objektpunkt mindestens zwei Sensorelemente zugeordnet sind. Die Vermessungseinrichtung enthält Mittel zur Veränderung der optischen Weglänge im Strahlengang zwischen der Blendenanordnung und dem Objekt, wobei der optische Abstand der Bildebene von der Abbildungsoptik in vorgegebener Weise veränderbar ist. Die Abhängigkeit der Akkumulation von Ladungen in den mindestens zwei Sensorelementen von der Lichtintensität des Beobachtungsstrahlenganges während des Belichtungszeitraums lässt sich derart beeinflussen, dass ein Zusammenhang mit dem optischen Abstand der Bildebene von der Abbildungsoptik hergestellt werden kann, so dass aus der Verteilung der aus den mindestens zwei Sensorelementen während eines Belichtungszeitraumes gewonnenen Intensitätswerte eine Höhenkoordinate des Objekts rekonstruierbar ist. Vorteilhafterweise ist der Abbildungsbereich des Objekts in der Ebene der strahlungsempfindlichen Sensorelemente mindestens so groß, dass mindestens eines der beiden Sensorelemente während eines Belichtungszeitraumes vollständig innerhalb des Abbildungsbereichs liegt.

Diese Rekonstruktion ist dadurch möglich, dass jeder veränderten optischen Weglänge eine aus den beiden Sensorelementen gewonnene Information zugeordnet werden kann. Mit einer Vorrichtung nach diesem Prinzip ist es möglich, die Vermessung in vergleichsweise kurzer Zeit mit der Methode der konfokalen Mikroskopie durchzuführen. Dazu ist nur eine einzige Aufnahme erforderlich, bei welcher während des Be-

lichtungszeitraums eine Verstellung des optischen Abstands erfolgt.

Darüber hinaus kann die Vermessungseinrichtung eine Blendenanordnung zur Erzeugung einer Helligkeitsverteilung am
5 Objekt enthalten. Dadurch ist es möglich, mehr als einen Objektpunkt gleichzeitig zu untersuchen.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Vermessungseinrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass durch die Blendenanordnung mehrere Objektpunkte erzeugt werden können, wobei es min-
10 destens so viele zusammenwirkende Gruppen von Sensorelementen geben sollte, wie Objektpunkte erfasst werden. Die Abgrenzung der Höhenkoordinaten wird auf diese Weise verbessert.

Weiterhin kann die Vermessungseinrichtung im Beobachtungs-
15 strahlengang zwischen Objekt und Empfänger Mittel zum Umlenken des Beobachtungsstrahlenganges besitzen. Damit ist eine räumliche Trennung von Licht und Empfängeroptik möglich, die die Anordnung der benötigten Bauteile unter beengten Platzverhältnissen erleichtert.

Vorteilhafterweise ist dieses Umlenkmittel als Strahlteiler
20 ausgebildet.

Dieses Umlenkmittel ist vorzugsweise zwischen der Blendenanordnung und der Lichtquelle angeordnet. Darüber hinaus ist eine Anordnung zwischen Abbildungsoptik und Blendenan-
25 ordnung möglich.

Eine günstige Ausgestaltung der Vermessungseinrichtung besteht darin, dass eine bewegliche Blende vorgesehen ist, die in Abhängigkeit des Verschiebewegs die Sensorelemente zumindest teilweise abschattet.

30 Die Blende könnte derart gestaltet sein, dass eine Verschiebung der Blende eine Verringerung der Abschattung des

mindestens einen Sensorelements und gleichzeitig eine Erhöhung der Abschattung des mindestens einen anderen Sensorelements bewirkt.

Weiterhin kann die Blende in einer Anfangsposition einen
5 Teil der Sensorelemente vollständig abschatten und in einer Endposition einen anderen Teil der Sensorelemente vollständig abschatten und in einer Zwischenposition sowohl einen Teil der einen als auch einen Teil der anderen Sensorelemente abschatten. Das kann mit demselben lichtundurchlässigen Bauteil der Blende geschehen. So lassen sich größtmögliche Intensitätsunterschiede in den Sensorelementen erreichen und somit der Signalabstand erhöhen.

Vorteilhafterweise entspricht dabei der Grad der Abschattung des einen Teils der Sensorelemente dem Grad der be-
15 lichteten Fläche des anderen Teils der Sensorelemente. Auf diese Weise wird eine Linearisierung der aus der Verteilung der Intensitätswerte der mindestens zwei Sensorelemente gewonnenen Beziehung ermöglicht und die Kalibrierung des Systems vereinfacht.

20 Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, dass die Blendenanordnung zur zweidimensionalen Abtastung des Objekts ausgebildet ist. Die Blendenanordnung ist hierfür zweidimensional ausgebildet und weist eine Vielzahl von einzelnen, zueinander beabstandeten Blendenöffnungen auf.
25 Der Abstand einzelner Blendenöffnungen zueinander bestimmt ein Tastverhältnis der Blendenanordnung. Derartige Blendenanordnungen sind aus der konfokalen Messung hinreichend bekannt.

Vorteilhafterweise sind Verstellmittel vorgesehen, um die
30 Blendenanordnung so zu verstellen, dass auch vom Tastverhältnis der Blendenanordnung in einer ersten Messung nicht abgebildete Bereiche in einer zweiten Messung erfasst wer-

den. Dies führt zu einer Erhöhung der Auflösung über das durch das Tastverhältnis gegebene Maß hinaus.

Als Bildempfänger zur Erstellung von zweidimensionalen Aufnahmen, wobei die eine Dimension insbesondere eine Höhenko-
5 ordinate ist, ist ein Zeilensensor geeignet. Für dreidimensionale Aufnahmen mit einer Höhenkoordinate ist als Bildempfänger ein Flächensensor geeignet.

Vorteilhafterweise ist der Bildempfänger als CCD-Sensor ausgeführt. Alternativ dazu kann der Bildempfänger als
10 CMOS-Sensor ausgebildet sein.

Die Veränderung der Empfindlichkeit der Sensorelemente kann über einen im Beobachtungsstrahlengang angeordneten Strahlteiler erfolgen, der das gleiche Bild an ein zweites Sensorelement übermittelt, wobei zwischen den beiden Sen-
15 sorelementen mittels elektronischer und/oder optischer Hilfsmittel während des Vermessungszeitraumes übergeblendet wird. Dies erlaubt das Betreiben zweier unabhängiger Sensoren.

Vorteilhafterweise nimmt die Empfindlichkeit der mindestens
20 zwei zusammenwirkenden Sensorelemente mit fortschreitender Veränderung der optischen Weglänge in dem einen Sensorelement zu und in dem anderen Sensorelement ab. Dadurch lässt sich ein einfacher Zusammenhang zwischen der Information der Sensorelemente und der zu bestimmenden Höhe herstellen.

25 Es ist sinnvoll, den mittleren Tastabstand der Blendenanordnung der gewünschten Messgenauigkeit anzupassen.

Das erfindungsgemäße Verfahren besteht darin, dass nach dem Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie aus einer Licht-
quelle Licht auf ein zu vermessendes Objekt abgestrahlt
30 wird, wobei das Licht über eine Abbildungsoptik fokussiert wird, und bei dem weiterhin das am Objekt zurückgestreute

und durch dieselbe Abbildungsoptik hindurchgetretene Licht eines Objektpunkts mittels eines Bildempfängers mit mindestens zwei strahlungsempfindlichen Sensorelementen empfangen wird. Die Vermessung ist dadurch gekennzeichnet, dass einem bestrahlten Objektpunkt mindestens zwei Sensorelemente zugeordnet sind. Weiterhin ist der optische Abstand der Bildebene in vorgegebener Weise über Mittel, die im Strahlengang zwischen der Blendenanordnung und dem Objekt angeordnet sind, veränderbar und die Abhängigkeit der Akkumulation von in den mindestens zwei Sensorelementen erzeugten Ladungen von der Lichtintensität im Beobachtungsstrahlengang wird während eines Belichtungszeitraums über Mittel so verändert, dass ein Zusammenhang zwischen der Akkumulation und dem optischen Abstand der Bildebene von der Abbildungsoptik hergestellt ist, sodass aus der Verteilung der aus den mindestens zwei Sensorelementen während eines Belichtungszeitraumes gewonnenen Intensitätswerte eine Höhenkoordinate des Objekts rekonstruierbar ist. Der Abbildungsbereich des Objekts in der Ebene der strahlungsempfindlichen Sensorelemente ist mindestens so groß, dass mindestens eines der beiden Sensorelemente während eines Belichtungszeitraumes vollständig innerhalb des Abbildungsbereichs liegt

25

Kurzbeschreibung der Zeichnung

Das erfindungsgemäße Verfahren wird anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

30

Fig. 1 Ein grundsätzlicher Aufbau der Vermessungseinrichtung nach dem Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung, die

Fig. 2 das zugrunde liegende Vermessungsproblem, dargestellt anhand eines Zahnes, die

Fig. 3 eine Verdeutlichung des Vermessungsproblems anhand einer Kavität

5 Fig. 4A den zeitlichen Intensitätsverlauf des von einem Punkt des Objekts zurückgestreuten Lichts hinter der Blendenanordnung im Beobachtungsstrahlengang, während der Veränderung von d (die zeitliche Position des Intensitätsmaximums beinhaltet die Information über die Höhe z des Objektpunkts), die

10

Fig. 4B eine Intensitätsverteilung der Veränderung des optischen Wegs beim Abtasten des Objekts, die

Fig. 5 eine Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Blende, die unmittelbar benachbart zum Bildempfänger angeordnet ist, der aus zwei ineinander verschobenen Matrizen von Sensorelementen besteht, die

15

Fig. 6 eine Prinzipskizze des Bildempfängers mit zwei Sensorelementen, die

Fig. 7A-C den qualitativen Verlauf der in den Sensorelementen anfallenden Intensität und die dadurch erzeugten Ladungen, die

20

Fig. 8 eine Ausführungsform, bei der das gleiche Bild mittels eines Strahlteilers auf zwei räumlich getrennte Bildempfänger abgebildet wird, die

25 Fig. 9A-C den qualitativen Verlauf der in den Sensorelementen anfallenden Intensität und die dadurch erzeugten Ladungen in einer Ausführungsform gemäß Fig. 8, die

Fig. 10A-C verschiedene mögliche Ausführungsformen erfindungsgemäß einsetzbarer Bildempfänger, die

30

Fig. 11A-C verschiedene Anordnungsmöglichkeiten der Sensorgruppen, die

Fig. 12A-B eine gemäß einer Weiterbildung der Erfindung verwendbare Anordnung von Glaskeilen zur Veränderung der optischen Dicke des Strahlengangs in zwei Positionen, die

Fig. 13 eine alternativ zu Fig. 12 einsetzbare Anordnung zur Veränderung der optischen Weglänge, die auf der Verwendung von Reflektoren basiert, wobei ein Reflektor mittels Tauchspulen verfahrbar ist. Der Reflektor ist dabei in zwei verschiedenen Lagen dargestellt.

Ausführungsbeispiel der Erfindung

In **Fig. 1** ist ein grundsätzlicher Aufbau der Vermessungseinrichtung nach dem Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie dargestellt. Die Vermessungseinrichtung umfasst eine Lichtquelle 1, die typischerweise monochromatisches oder weißes Licht abstrahlt.

Über eine Optik 2 wird die Lichtquelle 1 in geeigneter Weise auf eine Blendenanordnung 3 abgebildet. Die Blendenanordnung 3 kann als Lochrasterplatte ausgebildet sein, bei höher entwickelten Anwendungen kann auch eine Anordnung von Mikrolinsen verwendet werden. Diese Anordnung kann gegebenenfalls zur flächendeckenden Abtastung des Objekts auch schnell bewegt werden, wobei dann eine Aufnahme für jede Position erforderlich ist.

Mittels einer Abbildungsoptik 4, die meist telezentrisch gestaltet ist, wird das aus der Blendenanordnung 3 austretende Licht 5 auf ein zu vermessendes Objekt 6 abgebildet. Der optische Abstand der Abbildungsoptik 4 kann relativ zum

Objekt 6 verändert werden, so dass unterschiedliche Höhenlinien des zu vermessenden Objekts in der Bildebene der Abbildungsoptik liegen. Die auf diesem Weg erzeugten Lichtpunkte auf dem zu vermessenden Objekt 6 werden von diesem
5 zurückgestreut und durchtreten die Blendenanordnung 3 als Beobachtungsstrahlengang 7 in umgekehrter Richtung wie das Licht 5.

Die zurückgestreute Lichtmenge erreicht immer für die Objektpunkte 6' des Objekts 6 ein Maximum, die gerade in der
10 Bildebene der Abbildungsoptik 4 liegen. In diesem Fall wird die Lichtintensität deutlich stärker als bei einer Rückstreuung von Licht außerhalb der Bildebene.

Das die Blendenanordnung 3 rückwärtig durchdringende Licht des Beobachtungsstrahlengangs 7 wird mittels eines Strahlteilers 8 und einer Empfängeroptik 9 auf einen Bildempfänger 10 abgebildet, mittels welchem ein elektronisches Signal gewonnen wird, das einem Rechner zur Auswertung zugeführt wird.
15

Die Veränderung des optischen Abstands zwischen der Abbildungsoptik 4 und dem Objekt 6 geschieht über Mittel zur Veränderung der optischen Weglänge 11.
20

Dieses Element kann zwischen der Aufnahmeoptik und dem Objekt eingefügt werden oder zwischen der Blendenanordnung und der Aufnahmeoptik.

25 Es ist weder notwendig, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der Bewegung dieses Elements und dem scharfen Bereich im Objektraum besteht, noch ist es notwendig, dass eine bestimmte Höhenlinie im Objekt zur gleichen Zeit scharf abgebildet wird, da ein derartiges Verhalten durch entsprechende Eichverfahren korrigierbar ist.
30

- 11 -

Eine bevorzugte Anordnung eines derartigen Elements als ein Mittel 11 zur Veränderung der optischen Weglänge im Strahlengang zwischen der Blendenanordnung 3 einerseits und dem Objekt 6 andererseits kann aus zwei Glaskeilen bestehen, 5 die gegeneinander verschoben werden, so dass als Ergebnis eine Glasplatte veränderlicher Dicke entsteht, siehe hierzu Fig. 12.

Die effektive Weglänge kann auch durch einen gefalteten Strahlengang und einen verfahrbaren Reflektor verändert werden. 10 Vorteilhafterweise kann der Antrieb des Reflektors durch eine Tauchspule ähnlich wie bei einem Lautsprecher erfolgen, siehe hierzu Fig. 13.

Im Beobachtungsstrahlengang 7 ist zwischen der Blendenanordnung 3 und dem Bildempfänger 10 eine bewegliche Blende 12 vorgesehen, die in diesem Ausführungsbeispiel in möglichst geringem Abstand vor dem Bildempfänger 10 angeordnet ist. Wesentlich ist, dass diese Blende 12 in einer Ebene 15 angeordnet ist, in der die Blendenanordnung 3 bzw. die Oberfläche des Bildempfängers 10 hinreichend scharf abgebildet wird. 20

Demnach könnte der Strahlengang nach der Blendenanordnung auch so gestaltet werden, dass eine weitere Bildebene für die Blendenanordnung entsteht, zusätzlich zu der ohnehin vorhandenen, in der der Bildempfänger 10 angeordnet ist. In 25 diesem Fall könnte die Blende in dieser Bildebene angeordnet sein. Die Ausgestaltung und die Wirkungsweise dieser Blende wird später erläutert.

Eine alternative Anordnung der Abbildungsoptik im Beobachtungsstrahlengang ist durch Weglassen der Abbildungsoptik 9 30 und Hinzufügen der Abbildungsoptik 9' zwischen der beweglichen Blende 12 und dem Bildempfänger 10 möglich.

In **Fig. 2** ist das zugrunde liegende Vermessungsproblem anhand der Vermessung eines Objektpunktes 6' entlang einer Achse 21 dargestellt, auf der auch der Beobachtungsstrahlengang 7 bis zur Umlenkung am Strahlteiler 8 liegt. Das zu
5 vermessende Objekt 6, hier ein Zahn, weist eine dreidimensionale Oberflächenkontur auf, welche als 3D-Modell nachgebildet werden soll. Bei einer zweidimensionalen Abbildung, wie sie ein gewöhnliches Videobild darstellt, erhält man zwar Informationen über die Gestaltung in x- und y-
10 Richtung, die Höhenkoordinaten in z-Richtung bleiben jedoch unbekannt. Bei der Vermessung wird von der Lichtquelle 1 abgegebenes Licht so fokussiert, dass durch die Blendenanordnung 3 hindurchgetretenes Licht zu Beginn der Vermessung einen Fokuspunkt 22 eines Blendenlochs auf der Höhe z_0 be-
15 wirkt. Zwischen der Blendenanordnung 3 und dem Fokuspunkt 22 liegt dann ein Abstand $d_{a,0}$ vor.

Der Lichtfleck weist einen Öffnungswinkel $\alpha/2$ von 1° bis 15° auf.

Durch Verändern der optischen Weglänge zwischen der Abbildungsoptik 4 und dem Objekt 6 über Mittel 11 verschiebt
20 sich der Fokuspunkt 22 solange, bis er im Objektpunkt 6' die Oberfläche des Objekts 6 auf der Höhe z_s erreicht, welche hier etwa ein Viertel des Messbereichs entspricht. In dieser Lage fällt der Objektpunkt 6' mit dem Fokuspunkt 22'
25 zusammen. Genau in dieser Stellung wird das vom Blendenloch ausgehende Licht maximal auf einen Punkt der Objektoberfläche gebündelt und das von dem Objektpunkt 6' zurückgestreute Licht optimal durch das Blendenloch nachgebildet, so
30 dass genau in dieser Stellung der Bildempfänger für den zugeordneten Punkt ein Intensitätsmaximum wahrnimmt; dies entspricht dem Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie.

Bei einem Abstand $d_{a,max}$ ist das Bild des Blendenlochs auf dem Objekt 6 wiederum unscharf und daher erreicht sehr wenig Licht den Bildempfänger.

Bei der Vermessung wird ein Abtasten in z-Richtung dadurch bewirkt, dass die optische Weglänge verändert wird, was durch eine mechanische Verstellung der Abbildungsoptik oder durch eine Veränderung der optischen Dichte im Strahlengang oder durch andere im Stand der Technik bekannte Mittel geschehen kann. Diese Verstellung der optischen Weglänge geschieht während eines einzigen Belichtungszeitraums.

In **Fig. 3** ist zur Verdeutlichung des grundlegenden Vermessungsproblems anhand einer auf der Zahnoberfläche 6 befindlichen Vertiefung 6.1 dargestellt. Der durch die Öffnungsbreite der Blende 3 sowie durch die Brennweite der Abbildungsoptik 4 gegebene Winkel α darf, um eine möglichst gute Auflösung der Oberflächenstruktur zu erzielen, nicht zu groß sein. Damit ein Oberflächenpunkt 6', der sich in einer Vertiefung mit einer Breite W_K und einer Tiefe D_K vom Fokuspunkt 22' befindet, in voller Intensität beleuchtet wird, ist es notwendig, dass der Öffnungswinkel kleiner ist als der durch das geometrische Verhältnis von Breite zu Tiefe der Vertiefung gegebene Maximalwinkel.

In **Fig. 4A** ist eine Intensitätsverteilung im Beobachtungsstrahlengang 7 zwischen Blendenanordnung 5 und Bildempfänger 10 gemäß Fig. 2 dargestellt. Im Bereich der Fokussierung an der Oberfläche des zu untersuchenden Objekts kommt es während des Belichtungszeitraums in der Höhe z_s , hier nach etwa einem Viertel der Veränderung des optischen Abstandes, zu einem Intensitätsmaximum, welches als klar erkennbare Spitze ausgebildet ist. Es versteht sich von selbst, dass der optische Abstand nicht mit dem tatsächlichen Höhenbild linear übereinstimmen muss - das Endziel be-

steht hier darin, Höhenkoordinaten des zu vermessenden Objekts bereit zu stellen. Vorteilhaft ist es aber gleichwohl, wenn eine Linearisierung des Zusammenhangs zwischen der Lage der Blendenanordnung und der Lage des Fokuspunktes
5 vorgenommen werden kann.

In **Fig. 4B** ist der Intensitätsverlauf des vom Objekt 6 zurückgestreuten Lichts des Beobachtungsstrahlenganges 7 in der Blendenanordnung 3 dargestellt. Die vertikale Achse entspricht der Intensität des Lichts, die horizontale Achse
10 entspricht der Zeit t während des Belichtungszeitraumes T des Bildempfängers 10. Der Bildempfänger 10 wird dabei während des gesamten Belichtungszeitraumes T belichtet, wobei der deutlich erkennbare Intensitätsanstieg genau dann auftritt, wenn der zugeordnete Objektpunkt 6' im scharfen Bereich
15 der Abbildung durch die Abbildungsoptik liegt. Außerhalb dieses scharfen Bereichs sind die Intensitätswerte demgegenüber deutlich geringer, da der Lichtfleck am Objektpunkt 6' größer ist.

In **Fig. 5** ist ein Ausführungsbeispiel einer Blende 12 dargestellt, die unmittelbar benachbart zu einem Bildempfänger 10
20 angeordnet ist. Der Bildempfänger 10 weist mehrere strahlungsempfindliche Sensorelemente 13, 14 auf, die gemäß der Erfindung zusammenwirken. Die Blende 12 ist als Hell/Dunkel-Muster ausgebildet und verfügt somit über einen
25 lichtundurchlässigen Bereich 15 und einen lichtdurchlässigen Bereich 16. Darüber hinaus ist die Blende 12 in Richtung des Pfeils 17 am Bildempfänger 10 und den Sensorelementen 13, 14 entlang bewegbar. Als Lochmuster für die Blende 12 kommen zum Beispiel Streifenmuster, aber auch ein
30 Schachbrettmuster in Frage, wie bei Fig. 11A-C eingehend erläutert wird. Im Ausführungsbeispiel entspricht das Streifenmuster der Größe der Sensorelemente 13, 14; d.h.,

- 15 -

ein Streifen eines Streifenmuster hat die gleiche Breite wie die Sensorelemente 13, 14.

In der dargestellten Ausgangsstellung ist das Sensorelement 13 vollständig von dem lichtundurchlässigen Bereich 15 abgeschattet, wohingegen das zweite Sensorelement 14 ohne jede Abschattung ist. Auf die Sensorelemente 13, 14 gerichtetes Licht wird daher ausschließlich im Sensorelement 14 ein informationstragendes elektronisches Signal erzeugt.

In **Fig. 6** ist eine Prinzipskizze des Bildempfängers 10 mit den Sensorelementen 13, 14 gezeigt, wobei zum Zweck der Vereinfachung von der Blende 12 lediglich der lichtundurchlässige Bereich 15 dargestellt ist. Auf die benachbarten Sensorelemente 13, 14 fällt der Lichtfleck 23 als Abbild der im Beobachtungsstrahlengang angeordneten Blendenanordnung. Der Durchmesser des Lichtflecks 23 ist durch die Blendenanordnung vorgegeben und so bemessen, dass beide Sensorelemente 13, 14 vollständig überdeckt werden. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Intensität des Lichts im Lichtfleck 23 über die gesamte Fläche konstant ist. Die Intensität selbst ist dabei durchaus zeitlich veränderlich, d.h. während eines bestimmten Belichtungszeitraumes T, während dessen auch eine Veränderung des optischen Weges stattfindet, kann sich die Intensität ändern. Ändert sie sich nicht, liegt der Messpunkt außerhalb des Messbereichs.

Es ist klar zu erkennen, dass der lichtundurchlässige Bereich 15 der Blende 12 in der gezeigten Stellung sowohl das Sensorelement 13 und 14 nur zum Teil abschattet, so dass in den Sensorelementen 13, 14 auch nur ein Bruchteil der Intensität des Lichtflecks 23 für die Signalerzeugung vorhanden ist.

Durch Verschieben der Blende 12 lässt sich der Anteil des Lichts, der dem jeweiligen Sensorelement 13, 14 zugeführt wird, verändern.

Ausgehend von dem in Fig. 4A dargestellten Intensitätsver-
5 lauf werden für verschiedene Stellungen der Blende 12 die in den Sensorelementen einfallende Intensität und die dadurch erzeugten Ladungen in den Fig. 7A bis C erläutert, wobei davon ausgegangen wird, dass sämtliche Störsignale wie Dunkelstrom, Rauschen sowie die Anteile der Intensität
10 aus nicht scharfen Ebenen vernachlässigbar sind bzw. rechnerisch korrigiert werden können.

Da im Falle eines elektronischen Bildempfängers die Licht-
quanten in elektrische Ladungen umgewandelt werden, wird
hier ein Verlauf der Intensität in eine Raumachse der Sen-
15 sorelemente, hier in x-Richtung, zu verschiedenen Zeiten t bzw. durch Veränderung der optischen Weglänge hervorgerufenen Höhenkoordinate z dargestellt. In diese Richtung wird während des Belichtungszeitraums T auch die Blende bewegt,
dargestellt als lichtundurchlässiger Bereich 15 in unter-
20 brochenen Linien. Aufgetragen ist die aufsummierte Intensität I und die dadurch hervorgerufene elektrische Ladung Q über der Bewegungsrichtung der Blende.

Der Beginn eines Belichtungszeitraumes T zum Zeitpunkt t_0 ist in **Fig. 7A** dargestellt. Der lichtundurchlässige Bereich
25 15 der Blende 12 schattet das Sensorelement 13 über seine ganze Erstreckung in x-Richtung ab, das Sensorelement 14 ist hingegen über seine ganze Länge in x-Richtung ohne jegliche Abschattung. Da jedoch weder Dunkelstromanteil, Rauschanteil noch Anteile aus nicht scharfen Ebenen berück-
30 sichtigt werden, wird in diesem Anfangszustand weder in dem Sensorelement 13 noch in dem Sensorelement 14 Ladung akkumuliert.

In **Fig. 7B** wird die Situation zum Zeitpunkt t_s des Auftreffens des Fokuspunkts auf die zu vermessende Oberfläche des Objekts mit einer Höhenkoordinate z_s dargestellt. Der optische Weg wurde so verstellt, dass der Fokuspunkt 22' gemäß
5 Fig. 2 gerade an der Oberfläche des zu untersuchenden Objekts 6 aus Fig. 2 liegt. Dadurch wird der in Fig. 4 dargestellte sprunghafte Anstieg in der Intensität hervorgerufen. Da jedoch der nicht durchlässige Bereich 15 der ebenfalls verstellten Blende die beiden Sensorelemente 13, 14
10 zu unterschiedlichen Teilen abdeckt, werden in den beiden Sensorelementen 13, 14 unterschiedliche Ladungen akkumuliert, zum besseren Verständnis dargestellt als Verhältnis $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$, was dem umgekehrten Verhältnis der Abschattung von $\frac{3}{4}$ und $\frac{1}{4}$ entspricht. Da während der weiteren Belichtungszeit
15 bis zum Ende des Belichtungszeitraumes T zum Zeitpunkt t_{max} keine weitere Belichtung mehr stattfindet, verbleibt es in **Fig. 7C** bei den durch Belichtung gemäß Fig. 7B akkumulierten Ladung Q_{13} , Q_{14} in den Sensorelementen 13, 14. Aus dem Unterschied und/oder dem Verhältnis der Ladung Q_{13} , Q_{14}
20 lässt sich der genaue Zeitpunkt der Belichtung der scharfen Schicht bestimmen. Aus der Bestimmung dieses Zeitpunktes lässt sich in Kenntnis der Veränderungen des optischen Wegs einerseits und der Bewegung der Blende 12 andererseits eine Höhenkoordinate z_s rekonstruieren, die einen Punkt auf der
25 Oberfläche des zu untersuchenden Objekts wiedergibt.

Selbst in dem Fall, dass keine idealen Verhältnisse vorliegen, ergibt sich aufgrund der hohen Intensität des Lichtflecks dann, wenn die Ebene, in der der Fokuspunkt 22 liegt, die Oberfläche des untersuchten Objekts erreicht,
30 ein hinreichender Signalabstand, um die Auswertung zu ermöglichen.

- Allgemein gilt, dass die Veränderung der optischen Weglänge im Strahlengang und die Veränderung der Empfindlichkeit und/oder der belichteten Fläche synchronisiert ist, wobei sich im einfachsten Fall eine Blende in der Zeit, in der
- 5 der interessierende Höhenbereich durch die Veränderung der optischen Weglänge abgefahren wird, von der beschriebenen Ausgangsposition in die beschriebene Endposition gebracht wird. Im einfachsten Fall ist dies auch genau die Belichtungszeit T für ein Bild des Bildempfängers.
- 10 Insbesondere bei der Verwendung von CCD-Sensoren oder CMOS-Sensoren findet eine Umwandlung von während des gesamten Belichtungszeitraumes auftretenden Lichtquanten in elektrische Ladung statt. Dabei ist für eine komplette Vermessung ein einziger Belichtungszeitraum ausreichend, wobei dieser
- 15 die Zeitdauer von 500 ms und vorzugsweise von 200 ms nicht übersteigt, typischerweise aber bei 50 ms liegt. In diesem Zeitraum ist es noch möglich, eine freie oder abgestützte Aufnahme von Hand durchzuführen, wie dies bei Intraoralkameras gefordert wird. Aufgrund der besonderen Anforderungen
- 20 ist bei Intraoralkameras ein Höhenmessbereich von 12 bis 20 mm zu fordern, ohne dass der Belichtungszeitraum zu lange wird oder die Genauigkeit leidet.
- In den Figuren 6 und 7A bis C wird ein Paar von Sensorelementen 13, 14 betrachtet, auf welche das Licht aus einer
- 25 Öffnung in der Blendenanordnung abgebildet wird. Unter Berücksichtigung des zeitlichen Intensitätsverlaufs hinter der Blendenanordnung, also beispielsweise der Lochrasterplatte, sind so die beiden Sensorelemente 13, 14 nahezu unbeleuchtet, bis auf einen kurzen Zeitraum, in dem der zugeordnete Punkt des zu vermessenden Objekts im scharfen Bereich liegt. Je nach Stellung der Blende und insbesondere
- 30 des lichtundurchlässigen Bereichs 15 fällt diese Lichtmenge

mehr auf das erste oder mehr auf das zweite Sensorelement 13,14 des Bildempfängers 10. Aus der auf die Sensorelementen 13, 14 einwirkenden Intensität kann damit auf den Zeitpunkt geschlossen werden, in dem der zugeordnete Objektpunkt scharf abgebildet wurde. Unter Verwendung der Eichdaten, die mit einer Eichung der Vermessungseinrichtung gewonnen wurden, ist dann dem Zeitpunkt ein Höhenwert zuzuordnen. Somit lässt sich die Höhe des vermessenden Objekts aus den Intensitäten in den beiden Sensorelementen 13, 14 als auszulesendes Bild des Bildempfängers zu berechnen.

Alternativ zu einer mechanisch bewegten Blende können auch entsprechend angesteuerte elektrische Mittel, z. B. ein LCD-Element, oder andere optische Bauelemente, die eine Veränderung der Lichtdurchlässigkeit zulassen, z.B. eine Kombination von entsprechend ausgestalteten Polarisationsfiltern, mit lichtundurchlässigen und lichtdurchlässigen Bereichen verwendet werden.

Es ist weiterhin weder zwingend erforderlich, dass der strahlendurchlässige und der strahlenundurchlässige Bereich 15 der Blende 12 genau gleichgroß sind, noch müssen diese Bereiche exakt auf die Größe eines Sensorelements abgestimmt sein. Eine Vollabdeckung eines Sensorelements ist ebenso wenig erforderlich, da es nur darauf ankommt, eine eindeutige Wertverteilung zwischen den beiden Sensorelementen 13, 14 zu erhalten.

Grundsätzlich ist es sogar möglich, anstelle einzelner Sensorelemente mehrere Sensorelemente in Gruppen zu bündeln und nicht das Verhalten der einzelnen Sensorelemente untereinander zu betrachten, sondern das Verhalten der Gruppen.

In **Fig. 8** ist eine Ausführungsform dargestellt, bei der das gleiche Bild mittels eines Strahlteilers 24 auf zwei getrennte Bildempfänger 10, 10' abgebildet wird. Die erfin-

5 dungsgemäß benötigte zeitlich veränderliche Empfindlichkeit der räumlich getrennten Bildempfänger 10, 10' kann durch Abschattung mittels elektronischer oder optischer Hilfsmittel geschehen. Beispielfhaft sind hier LCD-Elemente 25 und 25' vorgesehen, deren Lichtdurchlässigkeit sich auf elekt-
10 rischem Wege verändern lässt. Diese Veränderung kann gegebenenfalls durch eine Recheneinheit gesteuert werden. Die Steuerung der LCD-Elemente 25 und 25' sieht vor, dass zur gleichen Zeit eine Zunahme der Abschattung des einen Sensorelements und eine Verringerung der Abschattung des anderen Sensorelements vorgenommen wird.

15 In den **Fig. 9A-C** sind die Beleuchtungsintensitäten zweier in Fig. 8 verwendeter Sensoren 10 und 10' mit Sensorelementen 13, 14, die sich auf getrennten Sensoren befinden, dargestellt.

20 **Fig. 9A** zeigt zu einem Zeitpunkt t_0 eine vollständig lichtdurchlässige Blende vor Sensorelement 13 und eine vollständig lichtundurchlässige Blende vor Sensorelement 14. Da, wie in Fig. 2 dargestellt, zum Zeitpunkt t_0 der Fokuspunkt 22 nicht mit dem Oberflächenpunkt 6' des Objekts 6 zusammenfällt, wird nur sehr wenig Lichtintensität auf das Sensorelement 13 fallen und nur sehr wenig Ladung akkumuliert, die in der Auswertung ohne Belang ist, wie bei Fig.7A bereits erläutert.

25 **Fig. 9B** zeigt den Zeitpunkt t_s , zu dem der Fokuspunkt mit dem Objektpunkt zusammenfällt. Die Blenden schatten zu diesem Zeitpunkt das eine Sensorelement zu einem bestimmten Grad ab und das andere Sensorelement zu einem dazu entgegengesetzten Grad, hier zur Verdeutlichung als Verhältnis $\frac{1}{4}$
30 zu $\frac{3}{4}$ dargestellt. Da zu diesem Zeitpunkt die größte Lichtmenge reflektiert wird, ist die Lichtintensität an den Sensorelementen 13, 14 am größten.

Fig. 9C zeigt das Intensitätsverhältnis zu einem späteren Zeitpunkt t_{\max} , an dem im Gegensatz zu Fig. 9A das Sensorelement 13 vollständig abgeschattet ist und dem Sensorelement 14 die volle Lichtintensität zugeführt wird. Diese
5 Lichtintensität ist aber, wie bereits in Fig. 9A an Sensorelement 13, viel geringer als zum Zeitpunkt t_s .

Die **Fig. 10A-C** zeigen verschiedene mögliche Geometrien von Bildempfängern. Die Bildempfänger können dabei jeweils in unterschiedlichen Techniken ausgeführt sein, so zum Bei-
10 spiel als CCD- oder CMOS-Sensoren.

Der in **Fig. 10A** dargestellte Bildempfänger 10.1 zeigt den einfachst möglichen Fall eines Punktsensors mit zwei Sensorelementen 13, 14.

In **Fig. 10B** ist ein Ausschnitt aus einem Bildempfänger 10.2
15 bestehend aus einer Zeile mit Punktsensoren 13, 14 dargestellt.

Fig. 10C zeigt einen für eine 3D-Aufnahme bei einmaliger Belichtung notwendigen flächenhaften Bildempfänger 10.3. Die Sensorelemente 13, 14 können hier in verschiedener Wei-
20 se angeordnet sein.

Die **Fig. 11A-C** zeigen bei einem wie in Fig. 10C dargestellten flächenhaften Bildempfänger 10.3 verschiedene Anordnungsmöglichkeiten der Sensorelemente 13, 14. Die Ausgestaltung der beweglichen Blende 12 ist an die Anordnung der
25 Sensorelementpaare anzupassen.

In **Fig. 11A** sind die Sensorelementgruppen schachbrettartig über die Fläche verteilt. Die lichtdurchlässigen Bereiche der beweglichen Blende müssen hier ebenfalls schachbrettartig gestaltet sein.

Fig. 11B zeigt eine zeilenartige Anordnung entsprechender Sensorelementgruppen, bei der die zusammenwirkenden Sensoren 13, 14 untereinander angeordnet sind.

Fig. 11C unterscheidet sich von Fig. 11B nur durch die
5 spalten- statt zeilenförmige Anordnung der Sensorelementgruppen. Hier wie auch in Fig. 11B ist die Blende eine entsprechend ausgerichtete Streifenblende.

In **Fig. 12A-B** wird eine Ausführungsform des Mittels zum Verstellen der optischen Weglänge 11 vorgeschlagen. Zwei
10 Glaskeile 26 und 26' sind gegeneinander verschiebbar in der Strahlachse 21 angeordnet. Dabei ist die effektive Dicke S bei entsprechender Verschiebung der Keile veränderbar. Die Veränderung der optischen Weglänge d zwischen der Blendenanordnung 3 und der Bildebene wird innerhalb der effektiven
15 Dicke S durch die durch die Brechung des Lichts an der Oberfläche hervorgerufene Änderung des Öffnungswinkels des Lichtkegels erreicht, sodass, je nach optischer Dichte der Keile, eine Verlängerung oder Verkürzung bezüglich der Brennweite der Abbildungsoptik 4 erzielt wird.

Fig. 12A zeigt dabei die Keile 26, 26' mit einer geringen effektiven Dicke S_0 , wie sie zu einem Zeitpunkt t_0 vor-
20 liegt.

Fig. 12B zeigt demgegenüber eine Position der beiden Glaskeile 26 und 26', bei der diese eine maximale Dicke S_{\max} er-
25 reichen.

Der Bildempfänger 10 hat eine Belichtungszeit T für ein Bild bestehend aus $n \times m$ Pixeln. Der Bildempfänger 10 ist so ausgeführt, dass jedem Punkt der Blendenanordnung 3 durch die Empfängeroptik 9 und gegebenenfalls zusätzlichen
30 Elementen mindestens zwei Sensorelemente 13, 14 zugeordnet sind. Logisch betrachtet besteht der Bildempfänger 10 somit

aus zwei $n/2 \times m$ -Matrizen von Sensorelementen mit einer Belichtungszeit T zur Erlangung einer Bildinformation. Weiterhin verfügt der Bildempfänger 10 über Mittel, die es erlauben, in der Zeit T die Empfindlichkeit der einen Sensorelementmatrix kontinuierlich zu verringern, z.B. von einem
5 Maximalwert auf Null und die der anderen Sensorelementmatrix zu erhöhen, z.B. von Null auf einen Maximalwert.

Die Ausführung des Bildempfängers 10 gemäß Fig. 8 besteht aus einem Strahlteiler 24 und zwei elektronischen Bildsensoren 10, 10', die z.B. als CCD- oder CMOS-Sensoren ausgeführt sein können. Dabei bilden die Pixelmatrizen der beiden Bildsensoren 10, 10' die vorher beschriebenen zwei $n/2 \times m$ Pixelmatrizen, auf die das gleiche Bild abgebildet wird. Beide Sensoren 10, 10' beinhalten Mittel zur Variation der
15 Empfindlichkeit 25, 25', z.B. LCD-Platten, die im Beobachtungsstrahlengang 7 zwischen Strahlteiler 8 und Bildsensor 10 stehen. Alternativ zu den LCD-Platten kann die Empfindlichkeit auch direkt durch elektronische Mittel an den Bildsensoren verändert werden, sofern die verwendete Sensortechnik dies erlaubt.
20

In der typischen Anwendung zur flächenhaften Höhenvermessung von Objekten, mit Sensorelementanordnungen wie in Fig. 11B bzw. 11C beschrieben, bei typischen Werten von $n = 500$, $m = 500$, ist die Blende 12 als Streifenmuster ausgebildet.
25 Alternativ zu einer mechanisch bewegten Blende kann auch ein LCD-Streifenmuster verwendet werden bei dem benachbarte Streifen vor zusammenwirkenden Sensorelementen liegen und diese in ihrer Empfindlichkeit gezielt verändern.

In **Fig. 13** ist die Veränderung des optischen Wegs mittels
30 zweier Reflektoren 27 und 28 vorgesehen, wobei der Reflektor 27 abbildungsgemäß feststehen soll und der Reflektor 28 mit der Rückseite an einen zu einer Tauchspule 29 gehören-

den Magneten 30 befestigt ist. Diese Tauchspulen sind aus dem Stand der Technik, beispielsweise aus dem Lautsprecherbau, bekannt und bedürfen daher keiner weiteren Erläuterung. Dargestellt sind zwei Positionen von Reflektor 28 und
5 Magnet 30, wobei die gestrichelt dargestellte Position einer Verlängerung des optischen Weges um $2 \times S_{\max}$ bezüglich der durchgezogen dargestellten Position entspricht.

Vorteilhafterweise wird die Vermessungseinrichtung so eingesetzt, dass die Bildempfänger 10 Flächensensoren sind und
10 die Höhenvermessung des Objekts in der Belichtungszeit T des Bildempfängers durchgeführt wird. Es ist jedoch auch möglich, statt mit Flächensensoren mit Zeilensensoren zu arbeiten und ein Objekt zeilenweise abzutasten. Es ist grundsätzlich möglich, nicht den kompletten Höhenmessbereich
15 während einer Belichtungsperiode T zu durchfahren, sondern die Vermessung auf mehrere aufeinanderfolgende Belichtungsperioden aufzuteilen.

Bezugszeichenliste

	1	Lichtquelle
	2	Abbildungsoptik
5	3	Blendenanordnung
	4	Abbildungsoptik
	5	Lichtstrahl
	6	Objekt
	6'	Objektpunkt
10	6.1	Vertiefung
	7	Beobachtungsstrahlengang
	8	Umlenkmittel
	9	Empfängeroptik
	9'	Abbildungsoptik
15	10	Bildempfänger
	10'	Bildempfänger
	10.1	Bildempfänger, ausgebildet als Punktsensor
	10.2	Bildempfänger, ausgebildet als Zeilensensor
	10.3	Bildempfänger, ausgebildet als Flächensensor
20	11	Mittel zur Veränderung d. optischen Weglänge
	12	bewegliche Blende
	13	Sensorelement
	14	Sensorelement
	15	dunkler Blendenbereich
25	16	heller Blendenbereich
	17	Bewegungsrichtung der Blende
	21	Achse
	22	Fokuspunkt; 22', 22'' in verschiedenen Lagen
	23	Lichtfleck
30	24	Strahlteiler
	25	Mittel mit veränderlicher Lichtdurchlässigkeit
	25'	Mittel mit veränderlicher Lichtdurchlässigkeit
	26	Glaskeil
	26'	Glaskeil

- 26 -

- 27 Reflektor
- 28 verfahrbarer Reflektor mit Magnet
- 29 Tauchspule

PATENTANSPRÜCHE

1. Vermessungseinrichtung nach dem Grundprinzip der konfo-
kalen Mikroskopie, umfassend eine Lichtquelle (1), eine
5 Abbildungsoptik (4) zur Fokussierung des von der Licht-
quelle (1) abgestrahlten Lichts (5) auf ein zu vermes-
sendes Objekt (6), weiterhin umfassend einen Bildemp-
fänger (10) für das am Objekt (6) zurückgestreute und
durch dieselbe Abbildungsoptik (4) hindurchgetretene
10 Licht (7) eines Objektpunktes (6') mit mindestens zwei
strahlungsempfindlichen Sensorelementen (13, 14) (Pi-
xel), **dadurch gekennzeichnet,**
- dass einem durch die Abbildungsoptiken (4, 9) be-
strahlten Objektpunkt mindestens zwei Sensorelemente
15 (13,14) zugeordnet sind,
 - dass Mittel (11) zur Veränderung der optischen Weg-
länge (d) im Strahlengang zwischen der
Blendenanordnung (3) und dem Objekt (6) angeordnet
sind, wobei der optische Abstand (d) der Bildebene
20 in vorgegebener Weise veränderbar ist, und
 - dass Mittel vorgesehen sind, die die Akkumulation
von Ladungen (Q_{13} , Q_{14}) in den mindestens zwei Sen-
sorelementen (13, 14) von der Lichtintensität des
Beobachtungsstrahlenganges (7) während des Belich-
25 tungszeitraums (T) derart beeinflussen, dass ein Zu-
sammenhang mit dem optischen Abstand (d) der Bild-
ebene von der Abbildungsoptik (4) hergestellt ist,
so dass aus der Verteilung der aus den mindestens
zwei Sensorelementen (13, 14) während eines Belich-
30 tungszeitraumes (T) gewonnenen Intensitätswerte eine
Höhenkoordinate (z_s) des Objekts (6) rekonstruierbar
ist.

2. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel die Empfindlichkeit der Sensorelemente (13, 14) und/oder die Lichtdurchlässigkeit im Beobachtungsstrahlengang (7) zwischen der Abbildungsoptik (4) und dem Bildempfänger (10), insbesondere die belichtete Fläche der mindestens zwei Sensorelemente (13,14), verändern.
3. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Blendenanordnung (3) zur Erzeugung einer Helligkeitsverteilung am Objekt (6) vorgesehen ist.
4. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Blendenanordnung (3) mehrere Objektpunkte (6') erfasst werden können, wobei mindestens so viele Gruppen von Sensorelementen (13, 14) vorgesehen sind, wie Objektpunkte (6') erfasst werden sollen.
5. Vermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im Beobachtungsstrahlengang (7) zwischen Objekt (6) und Empfänger (10) Mittel zum Umlenken (8) des Beobachtungsstrahlengangs (7) angeordnet sind.
6. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Umlenkmittel (8) ein Strahlteiler ist.
7. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Umlenkmittel (8) zwischen Abbildungsoptik (4) und Lichtquelle (1) angeordnet ist.
8. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 3 oder 4 in Verbindung mit Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Umlenkmittel (8) zwischen der Blendenanordnung (3) und der Lichtquelle (1) angeordnet ist.

9. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine bewegliche Blende (12) vorgesehen ist, die in Abhängigkeit des Verschiebewegs die Sensorelemente (13, 14) zumindest teilweise abschattet.
- 5 10. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (12) so ausgebildet ist, dass eine Verschiebung der Blende (12) eine Verringerung der Abschattung des mindestens einen Sensorelements (13) eine Erhöhung der Abschattung des mindestens einen anderen Sensorelements (14) bewirkt.
- 10 11. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (12) in einer Anfangsposition einen Teil der Sensorelemente (13) vollständig abschattet und in einer Endposition einen anderen Teil der Sensorelemente (14) vollständig abschattet und in
15 einer Zwischenposition sowohl einen Teil der einen Sensorelemente (13) als auch einen Teil der anderen Sensorelemente (14) abschattet.
- 20 12. Vermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 2 und 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Grad der Abschattung des einen Teils der Sensorelements (13) dem Grad der belichteten Fläche des anderen Teils der Sensorelements (14) entspricht.
- 25 13. Vermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel ein elektronisch gesteuertes optisches Element (25) veränderbarer Lichtdurchlässigkeit ist, insbesondere ein LCD-Element.
- 30 14. Vermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Blendenanordnung (3) zur zweidimensionalen Abtastung des Objekts (6) ausgebildet ist.

15. Vermessungseinrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass Verstellmittel vorgesehen sind, um die Blendenanordnung (3) so zu verstellen, dass auch vom Tastverhältnis der Blendenanordnung (3) in einer ersten Messung nicht abgebildete Bereiche in einer zweiten Messung erfasst werden.
16. Vermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Bildempfänger (10) ein Zeilensensor (10.2) ist.
17. Vermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Bildempfänger (10) ein Flächensensor (10.3) ist.
18. Vermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Bildempfänger (10) als CCD-Sensor ausgeführt ist.
19. Vermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Bildempfänger (10) als CMOS-Sensor ausgebildet ist.
20. Vermessungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorelemente (13, 14) auf getrennten Bildempfängern (10, 10') angeordnet sind und ein im Beobachtungsstrahlengang angeordneter Strahlteiler (24) vorgesehen ist, der das gleiche Bild an den zweiten Bildempfänger (10') übermittelt, wobei zwischen den beiden Bildempfängern (10, 10') mittels elektronischer und/oder optischer Hilfsmittel während des Vermessungszeitraums (T) übergeben wird.
21. Vermessungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Sensorelemente verwendet werden (13, 14) und die Empfindlichkeit

dieser mit zunehmendem Verstellweg in dem einen Teil der Sensorelemente (13) zunimmt und in dem anderen Teil der Sensorelemente (14) abnimmt.

22. Vermessungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 20,
5 dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere Tastabstand der Blendenanordnung (3) der gewünschten Messgenauigkeit entspricht.
23. Verfahren zur Vermessung nach dem Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie, bei dem aus einer Lichtquelle (1)
10 Licht (5) auf ein zu vermessendes Objekt (6) abgestrahlt wird, wobei das Licht (5) über eine Abbildungsoptik (4) fokussiert wird, und bei dem weiterhin das am Objekt (6) zurückgestreute und durch dieselbe Abbildungsoptik (4) hindurchgetretene Licht (7) eines Objektpunkts (6') mittels eines Bildempfängers (10) mit
15 mindestens zwei strahlungsempfindlichen Sensorelementen (13,14) empfangen wird, **dadurch gekennzeichnet,**
- dass einem bestrahlten Objektpunkt durch die Abbildungsoptiken (4, 9) mindestens zwei Sensorelemente
20 (13, 14) zugeordnet sind,
 - dass der optische Abstand (d) der Bildebene in vorgegebener Weise über Mittel (11), die im Strahlengang zwischen der Blendenanordnung (3) und dem Objekt (6) angeordnet sind, während des Belichtungszeitraums (T) verändert wird, und
25
 - dass die Abhängigkeit der Akkumulation von in den mindestens zwei Sensorelementen (13, 14) erzeugten Ladungen (Q_{13} , Q_{14}) von der Lichtintensität im Beobachtungsstrahlengang (7) über Mittel so veränderbar
30 ist, dass ein Zusammenhang zwischen der Akkumulation und dem optischen Abstand (d) der Bildebene von der Abbildungsoptik (4) hergestellt ist, sodass aus der

- 32 -

Verteilung der aus den mindestens zwei Sensorelementen (13, 14) während eines Belichtungszeitraumes (T) gewonnenen Intensitätswerte eine Höhenkoordinate (z_s) des Objekts (6) rekonstruierbar ist.

Zusammenfassung

Vermessungseinrichtung und Verfahren nach dem Grundprinzip
der konfokalen Mikroskopie

Die Erfindung betrifft eine Vermessungseinrichtung und ein
5 Verfahren nach dem Grundprinzip der konfokalen Mikroskopie,
umfassend eine Lichtquelle (1), eine Blendenanordnung (3)
zur Strahlbegrenzung, eine Abbildungsoptik (4) zur Fokus-
sierung des von der Lichtquelle abgestrahlten und durch die
Blendenanordnung hindurchgetretenen Lichts (5) auf ein zu
10 vermessendes Objekt (6).

Weiterhin ist eine Empfängeroptik (10) für das am Objekt
zurückgestreute und durch dieselbe oder eine im Beobach-
tungsstrahlengang (7) angeordnete weitere Blendenanordnung
hindurchgetretene Licht (5), sowie einen Bildempfänger (10)
15 mit mindestens zwei strahlungsempfindlichen Sensorelementen
(13, 14) (Pixel) umfasst.

Zur Erzeugung einer Höheninformationen enthaltenden Vermes-
sungsaufnahme sind Mittel (11) zur Veränderung der opti-
schen Weglänge im Strahlengang zwischen der Lichtquelle (1)
20 und/oder dem Bildempfänger (10) einerseits und dem Objekt
(6) andererseits angeordnet, wobei der optische Abstand (d)
des Fokus in vorgegebener Weise veränderbar ist.

Die Abhängigkeit der Akkumulation von Ladungen (Q_{13} , Q_{14}) in
den mindestens zwei Sensorelementen (13, 14) von der Licht-
25 intensität des Beobachtungsstrahlenganges (7) während des
Belichtungszeitraums (T) lässt sich derart beeinflussen,
dass ein Zusammenhang mit dem optischen Abstand (d) der
Bildebene von der Abbildungsoptik (4) hergestellt werden
kann, so dass aus der Verteilung der aus den mindestens
30 zwei Sensorelementen während eines Belichtungszeitraumes

- 34 -

gewonnenen Intensitätswerte eine Höhenkoordinate (z_s) des Objekts rekonstruierbar ist.

(Fig. 1)

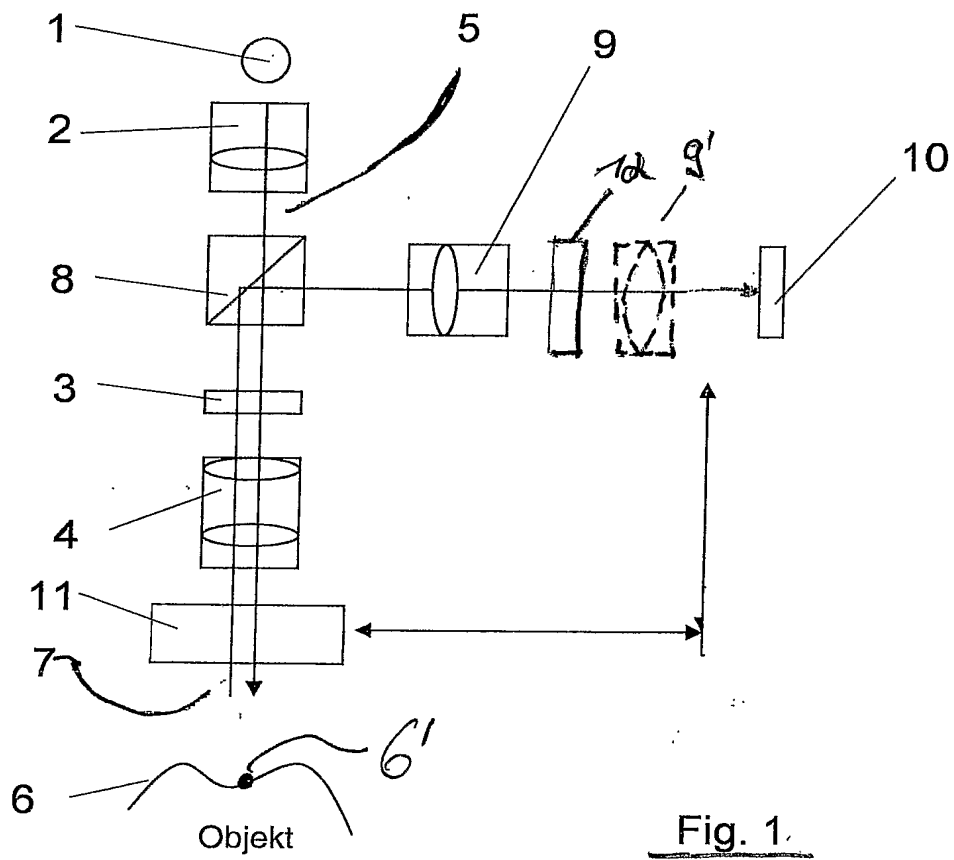


Fig. 1.

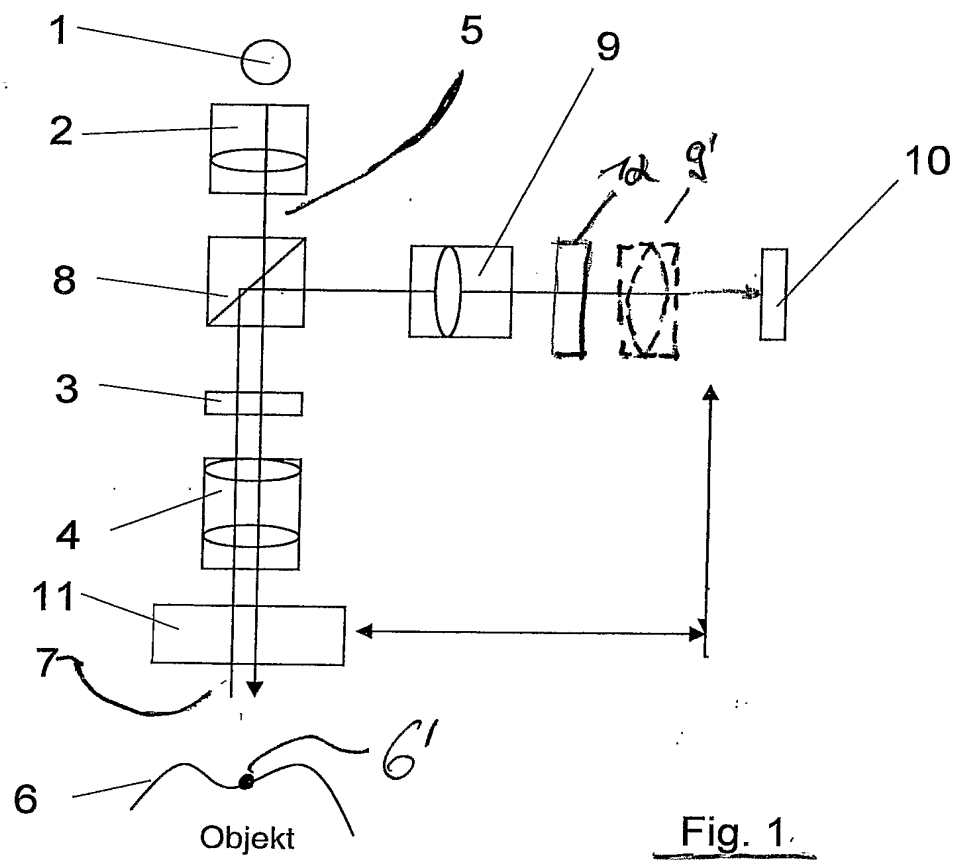


Fig. 1.

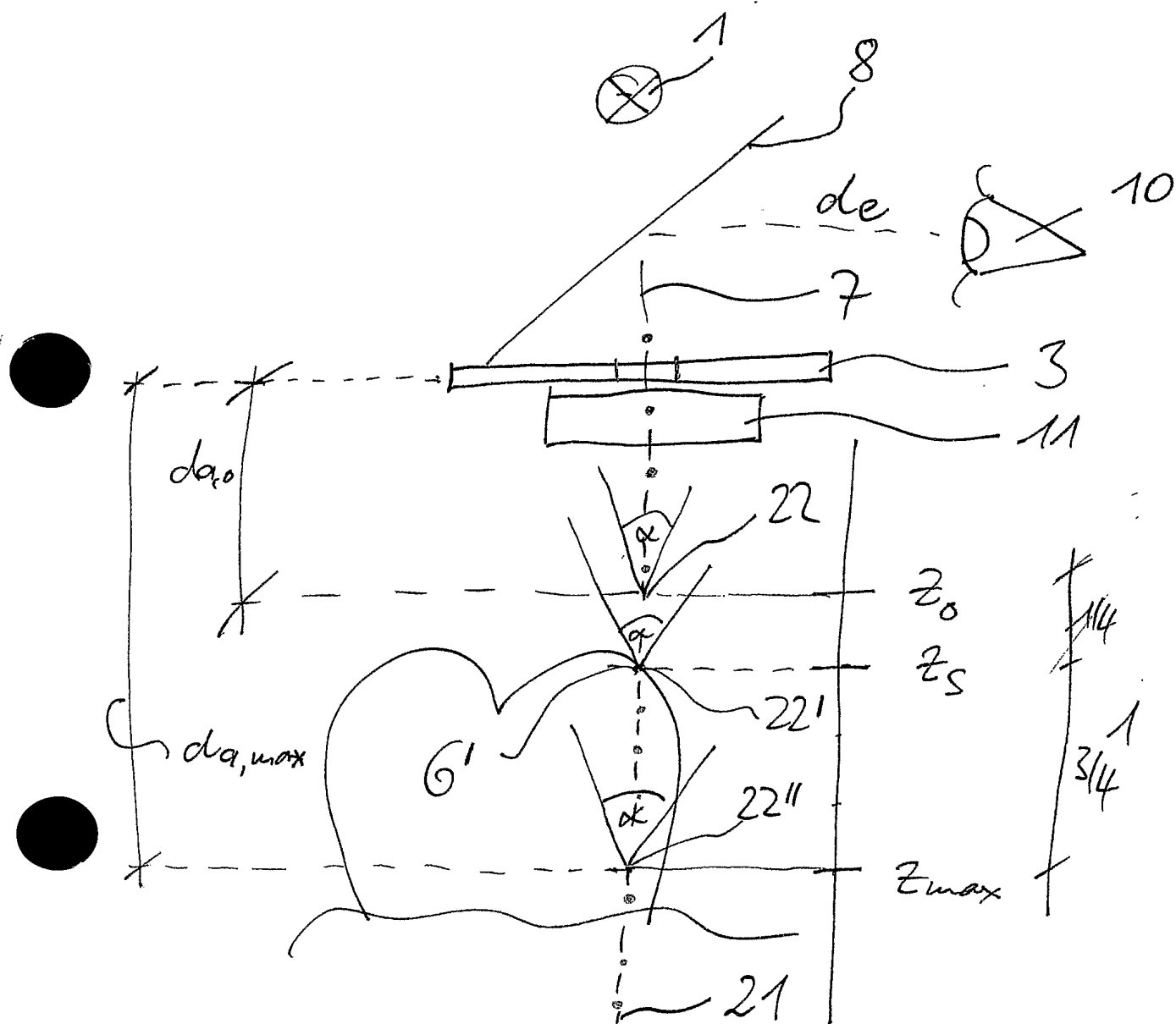


Fig. 2

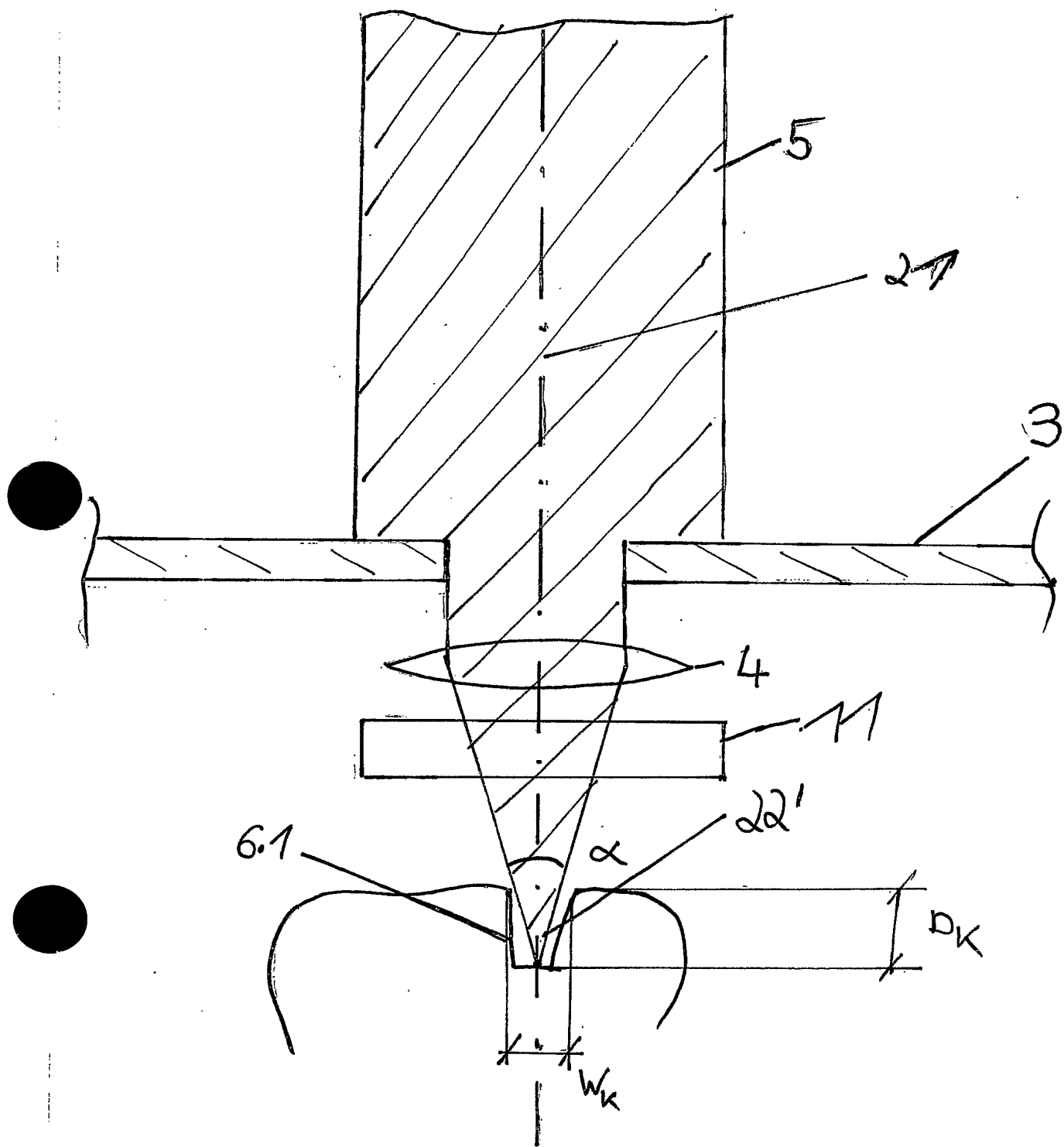


Fig. 3

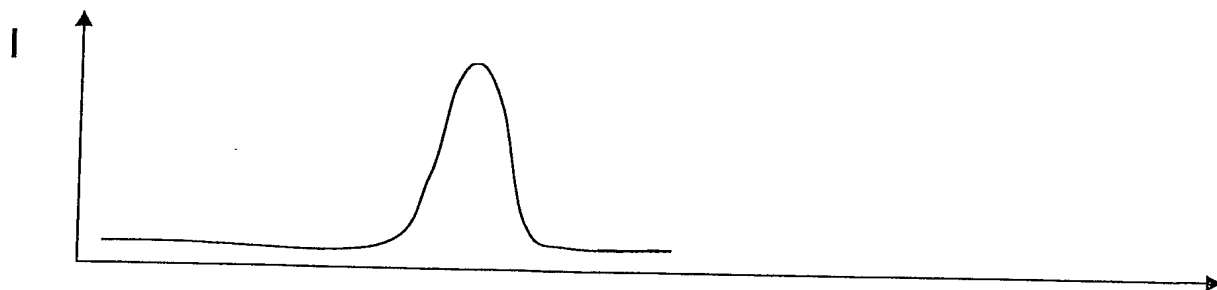


Fig. 4A

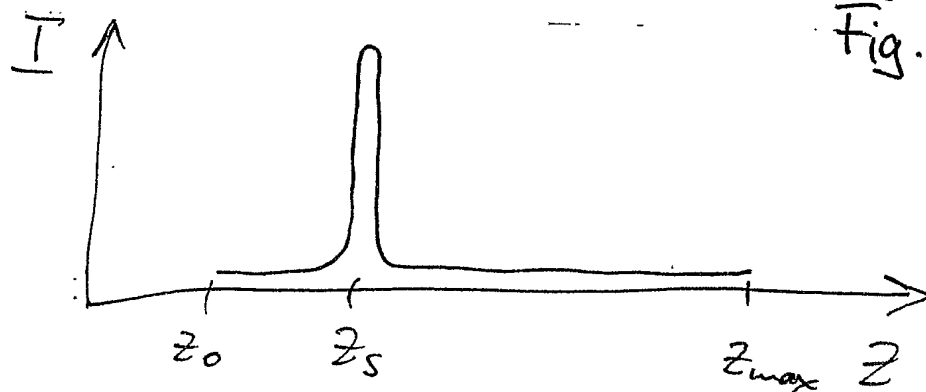


Fig. 4B

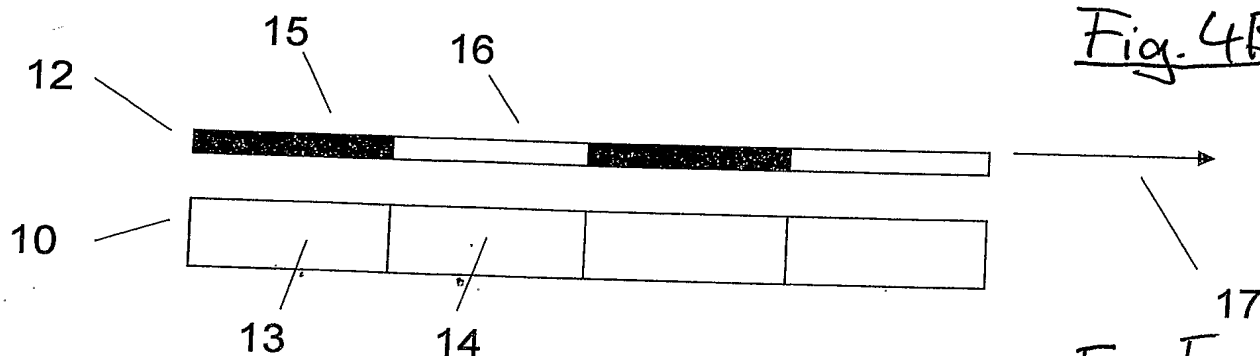


Fig. 5

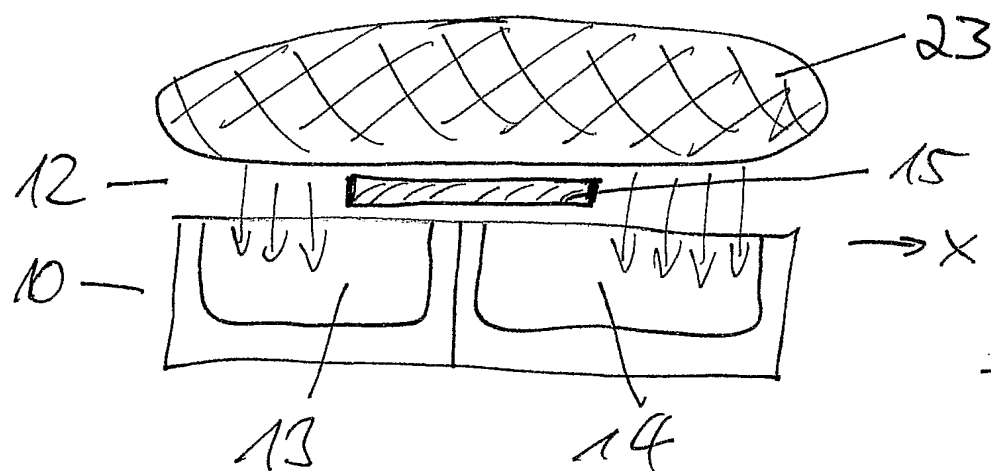
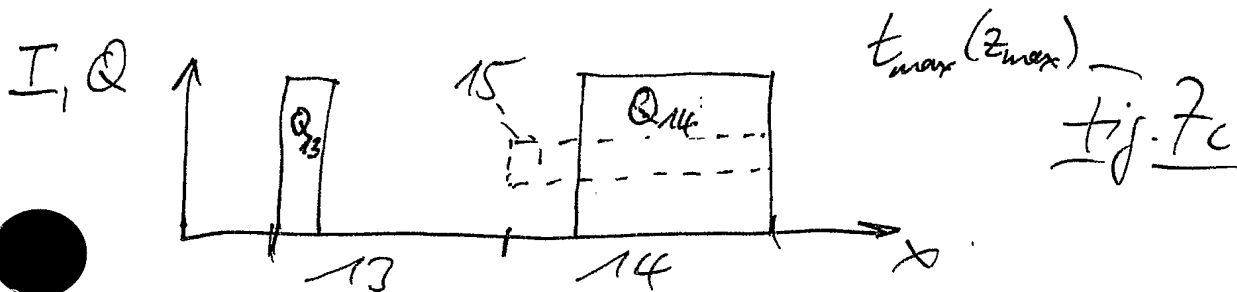
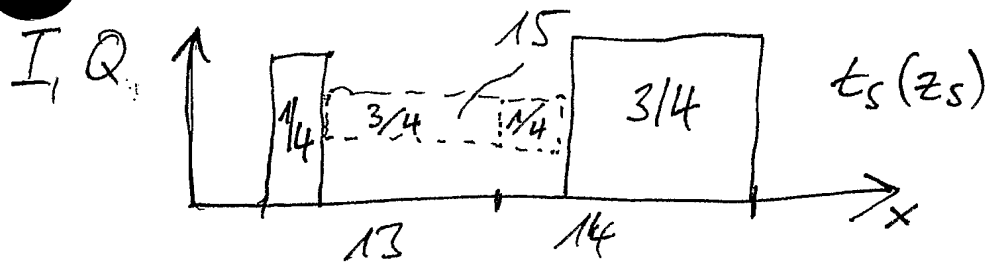
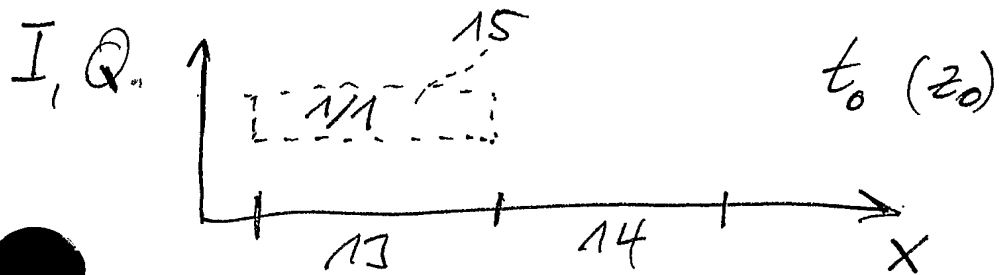


Fig. 6



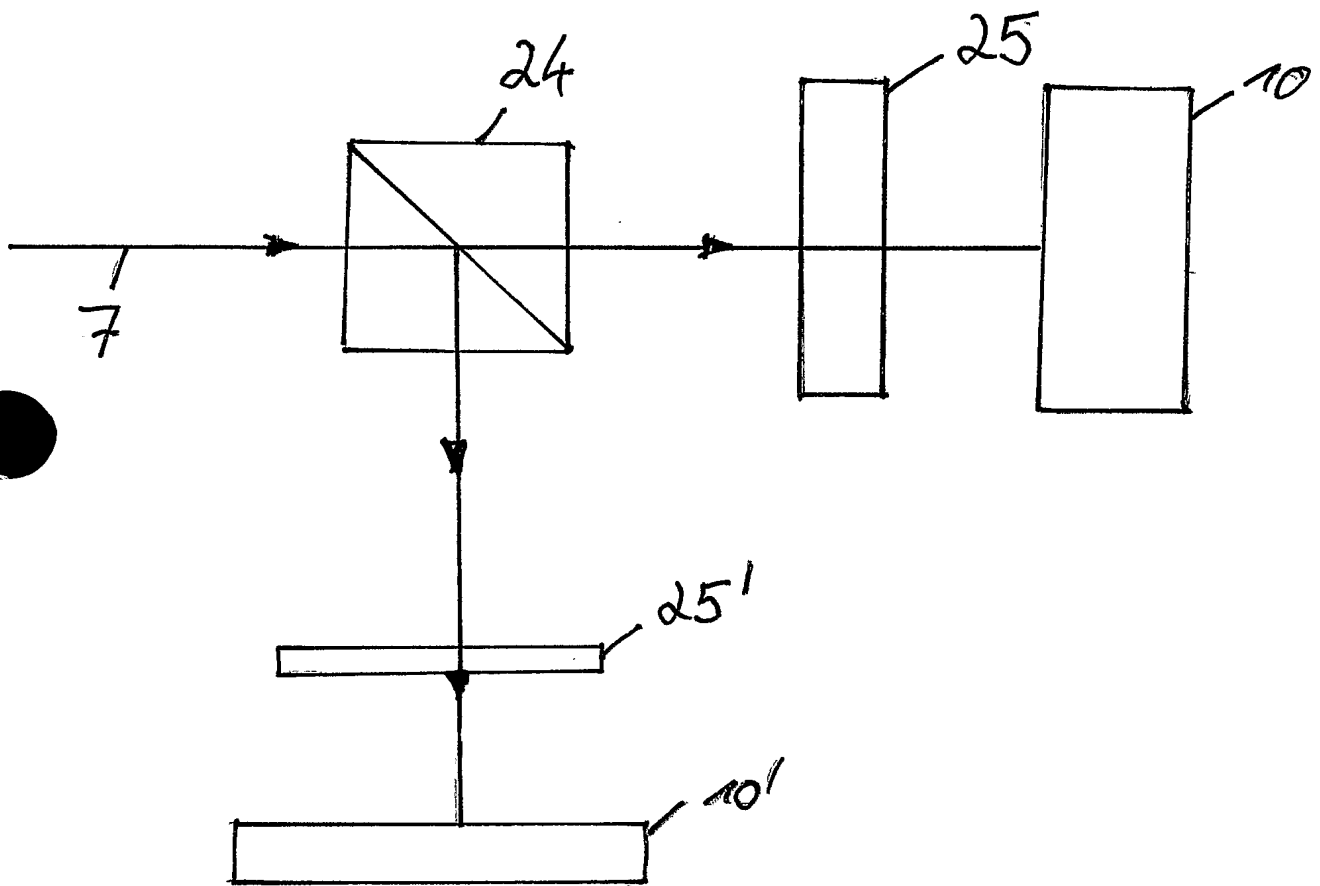
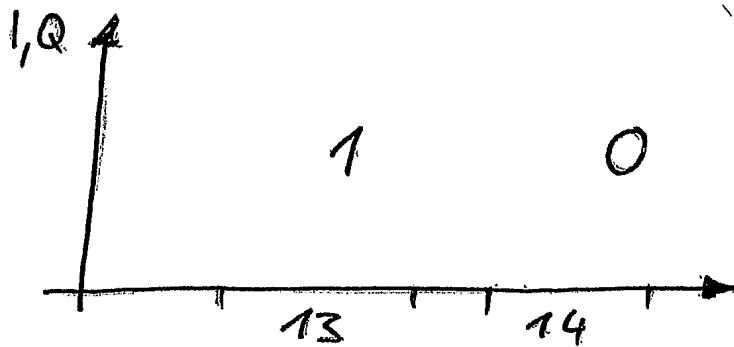
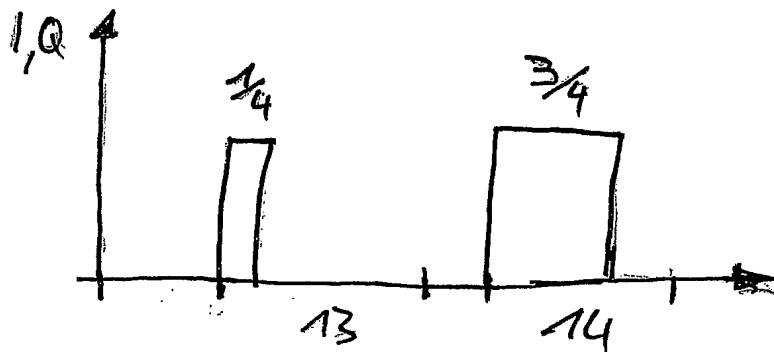


Fig. 8



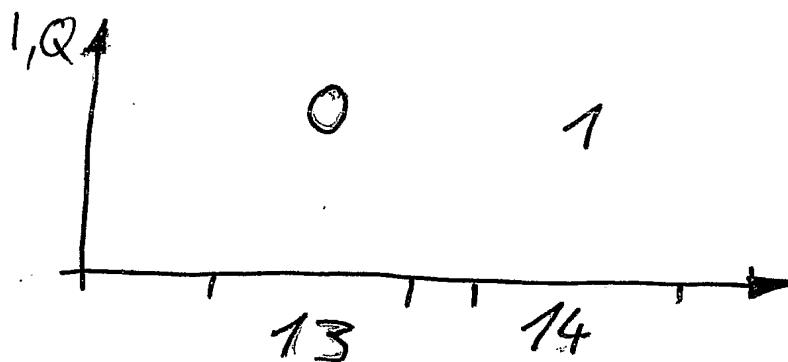
$t_0(z_0)$

Fig. 9A



$t_s(z_s)$

Fig. 9B



$t_{\max}(z_{\max})$

Fig. 9C

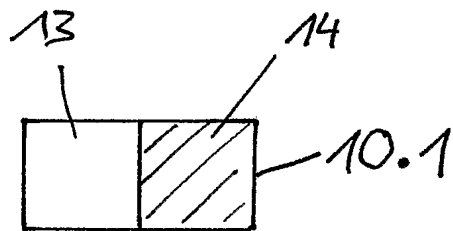


Fig. 10A

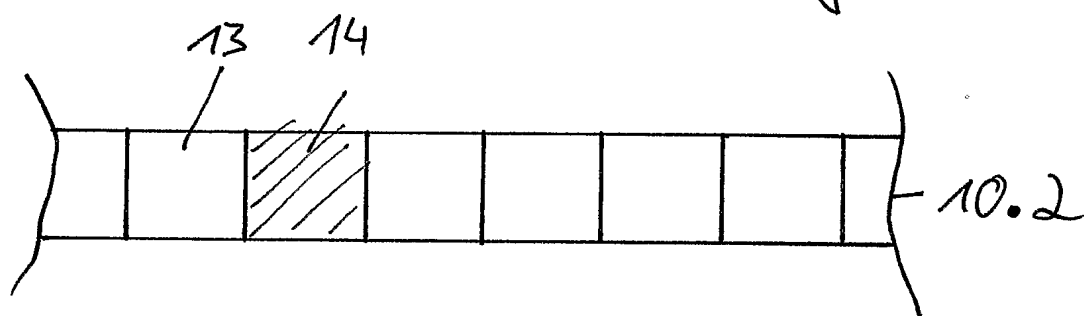


Fig. 10B

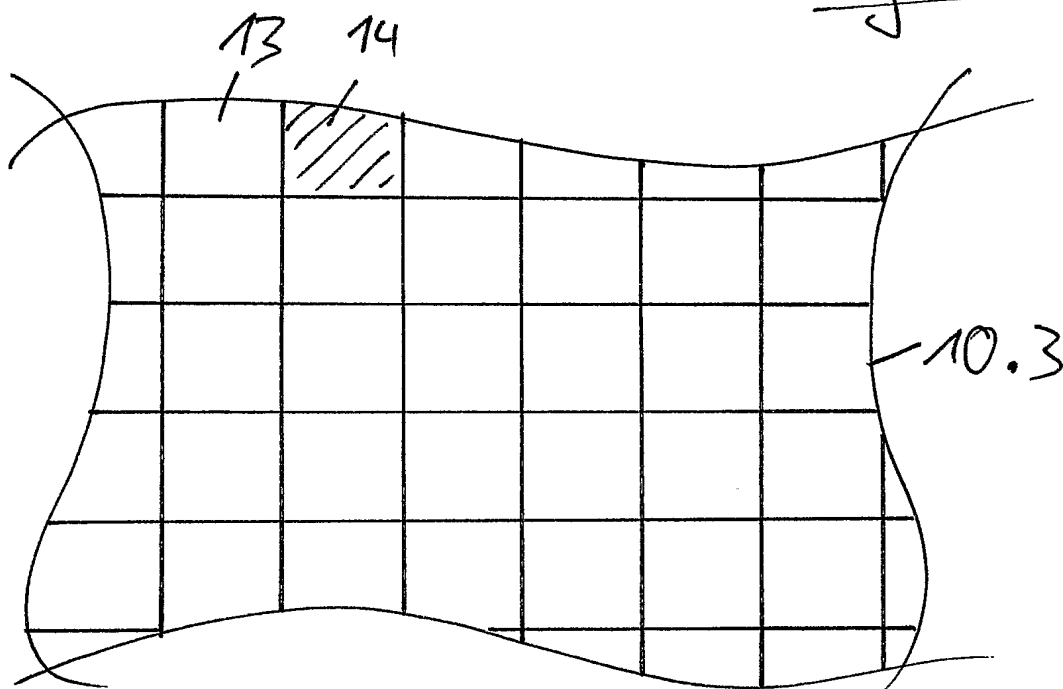


Fig. 10C

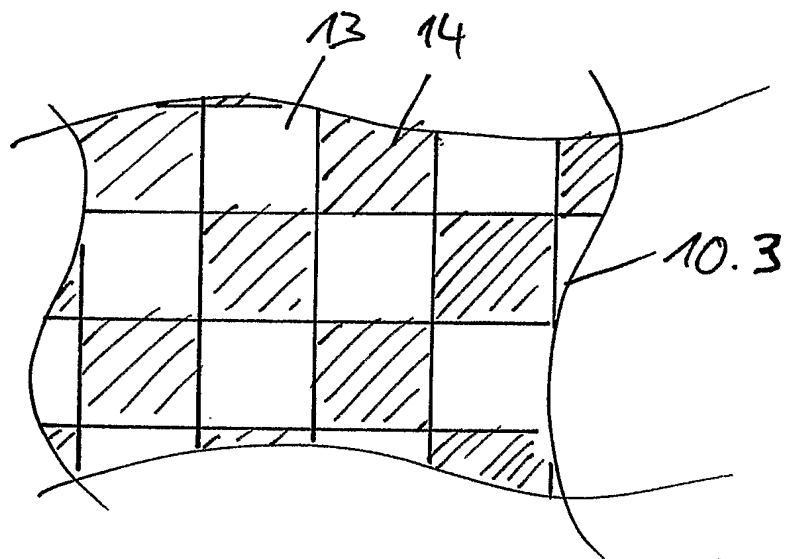


Fig. 11H

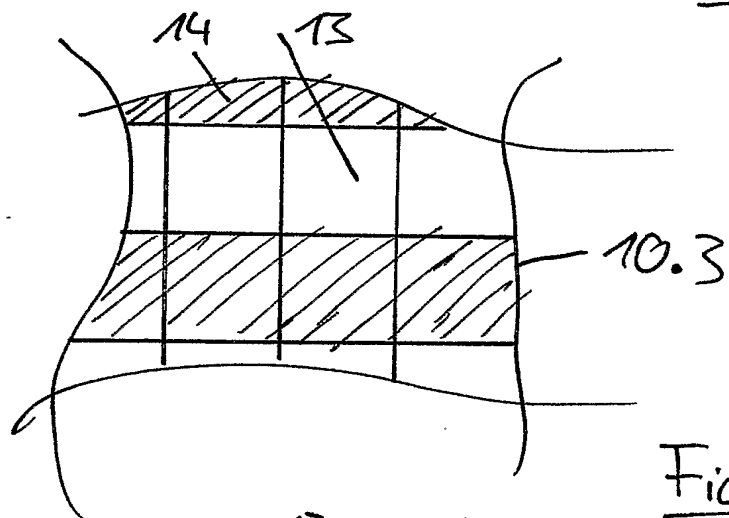


Fig. 11K

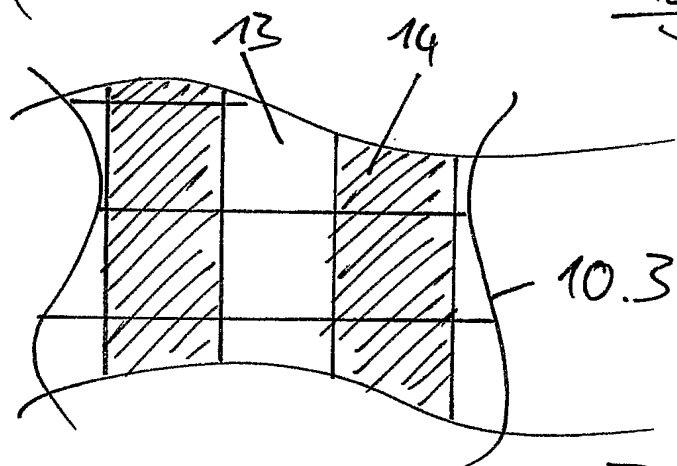


Fig. 11C

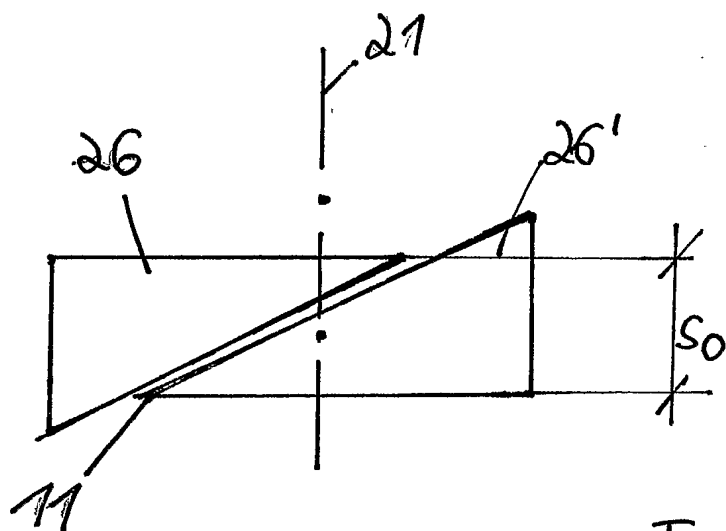


Fig. 12H

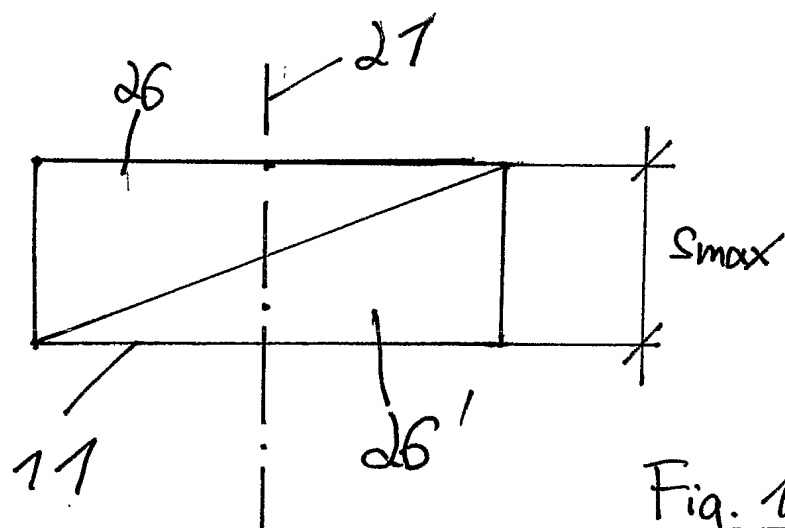


Fig. 12B

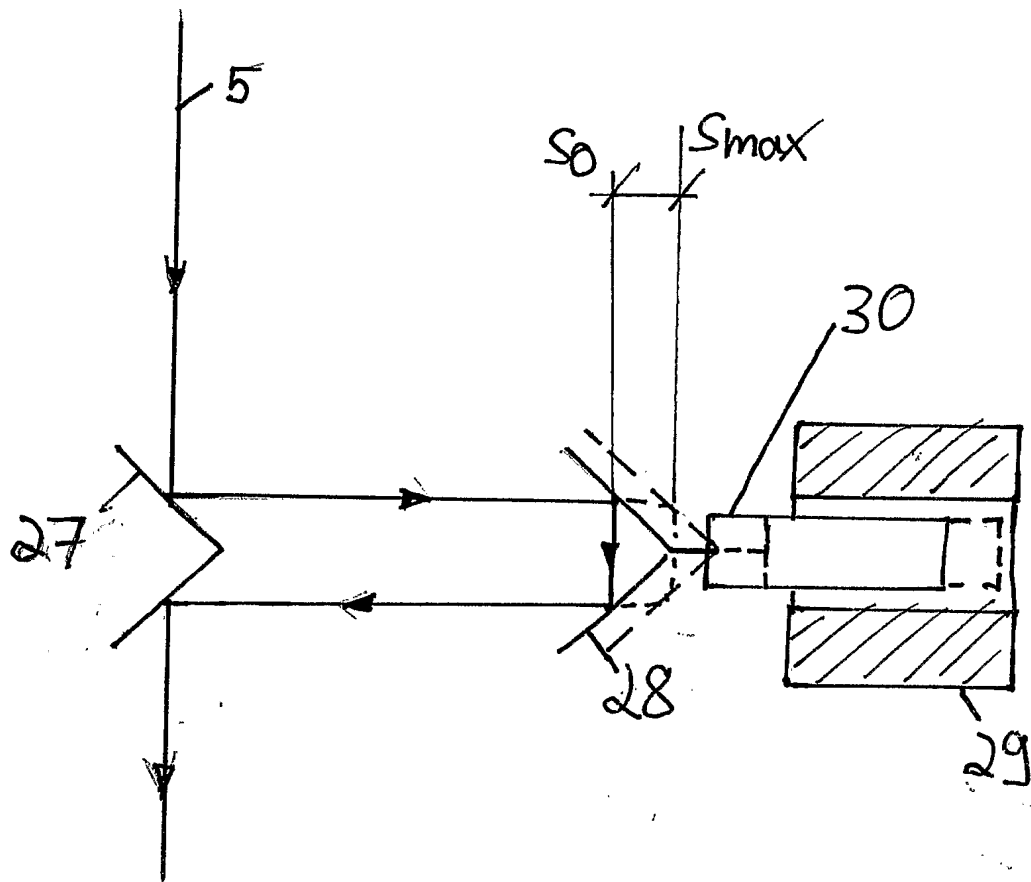


Fig. 13